

CDMA Slotted-ALOHA パケット通信における 送信電力制御の一検討

森 香津夫

(株) ワイ・アール・ピー 移動通信基盤技術研究所

〒239-0847 横須賀市光の丘3番4号 YRPセンター1 番館6F

電話 : 0468-47-5303

FAX : 0468-47-5305

E-mail : kmori@yrp-ktrl.co.jp

あらまし

開ループ送信電力制御を行なう CDMA スロット ALOHA パケット通信において、トラフィック規制の困難なサービスを提供する場合に、高チャネル負荷時のスループット特性の急激な劣化が問題となる。これを緩和する目的で、送信電力制御における目標受信電力値を、チャネル負荷と移動局位置により適応的に制御するチャネル負荷適応型送信電力制御方式を提案する。提案方式では、高チャネル負荷時に電力差による捕捉効果が得られるように、各移動局の目標受信電力値を制御する。提案方式の伝送特性を、計算機シミュレーションにより評価した。その結果、高チャネル負荷時のスループット特性が改善し、動作可能チャネル負荷領域を拡張することが可能となることを示す。

キーワード

CDMA, パケット通信, スロット付きアロハ方式, 送信電力制御, チャネル負荷, 適応制御

Transmission Power Control in CDMA Slotted-ALOHA Packet Radio Communications

Kazuo Mori

YRP Mobile Telecommunications Key Technology Research Laboratories Co., Ltd.

YRP Center Ichibankan 6F, 3-4 Hikari-no-oka, Yokosuka-shi, 239-0847 Japan

TEL : +81 468 47 5303

FAX : +81 468 47 5305

E-mail : kmori@yrp-ktrl.co.jp

Abstract

This paper proposes an adaptive transmission power control method for CDMA slotted-ALOHA systems. This method adaptively controls the target received power at base stations according to the offered channel load and the location of mobile stations. Computer simulation validates the effectiveness of this method: the capture effect can be achieved under heavy channel loads and therefore throughput performances are improved. Detailed evaluations of throughput and transmission delay in the case of perfect and imperfect power control are presented. Calculated results show that the proposed method has superior characteristics and can expand the allowable load area.

key words

CDMA, Packet Communication, Slotted-ALOHA, Transmission Power Control, Adaptive Control

1 まえがき

近年、将来のパーソナル通信に向けて、マルチメディア（例えば音声、データ、画像）の伝送が可能な移動体通信システムの実現が望まれている。パケット通信技術は様々なメディアを柔軟に扱うことが可能であるため、マルチメディア通信を実現する技術の一つとして注目されている。移動体通信システムはこれまで回線交換を採用してきたが、今後、無線チャネルを含めたパケット交換化が進展すると考えられる。このような状況の中で、近年、CDMA方式を採用したパケット通信システムの研究が盛んに行なわれている[1]-[5]。

CDMA 移動通信システムでは遠近問題が存在するため、その影響を軽減しチャネル容量を増加させる目的で、送信電力制御が必須と考えられている[6],[7]。CDMA パケット通信においても、送信電力制御を行なうことにより、最大スループットが向上することが知られている[4],[5]。しかしながら、チャネル負荷が大きくなると、スループット特性が急激に劣化し、送信電力制御を行わない場合の特性までも下回る。これは、基地局における各パケットの受信電力が等しくなるように制御されているため、基地局に多くのパケットが同時に到来すると、多元接続干渉により全てのパケットが一斉に所望の品質を満たさなくなるからである。これまでの回線交換ベースの移動通信システムでは、呼接続（設定）制御等により簡単にトラフィック規制を行なうことが可能であったため、高チャネル負荷時の特性劣化はさほど問題にならなかった。ところが、移動通信においても今後、呼接続制御を行わないコネクションレスサービスの提供が想定されるが、この場合、トラフィック規制は難しいと考えられる。したがって、トラフィック変動等により一時的に高チャネル負荷状態に陥った場合に、従来の送信電力制御法では伝送効率が急激に劣化してサービス性の劣化を導く。このため、高チャネル負荷時の特性の改善が望まれる。このような高チャネル負荷時の特性劣化に対しては、TDMA や FDMA など狭帯域系のパケット通信において、スループット特性が改善されると知られている受信電力差による捕捉効果[8]-[10]が有効であると考えられる。この捕捉効果により、基地局はパケット集中時においても所要の品質を満たしている電力の大きなパケットを正しく受信することが可能となる。このように、CDMA パケット通信システムでは、高チャネル負荷時の特性劣化を緩和するために、受信電力差による捕捉効果を首尾良く得ることの可能な新たな送信電力制御法が必要であると考えられる。

そこで本稿では、CDMA スロット ALOHA パケット通信における新たな送信電力制御方式を提案する。提案方式では、基地局でのパケットの受信電力の目標値である目標受信電力をチャネル負荷と移動局位置により適応的に制

御する。基地局は、移動局が目標受信電力を決定する際に用いる目標受信電力設定関数を設定し、この関数をチャネル負荷に応じて制御する。移動局は、接続中の基地局からの距離に応じて、自己の目標受信電力値を目標受信電力設定関数により決定する。高チャネル負荷時には、基地局からの距離が異なる移動局の目標受信電力値間の差分が大きくなるように、目標受信電力設定関数を制御することで捕捉効果を得る。同時にセル境界付近の移動局の送信電力を抑制することで、隣接セルへの干渉を低減する。性能評価は、計算機シミュレーションにより、セルラー環境において完全送信電力制御の場合と不完全送信電力制御の場合について行なった。その結果、従来の送信電力制御法に比較して伝送特性が改善することを示す。

2 CDMA スロット ALOHA 通信での送信電力制御

CDMA 移動通信システムで検討されている送信電力制御法は、大別して開ループ制御と閉ループ制御の2種類の方式がある。回線交換ベースのシステムでは、これら2種類の方式を併用して、精度の高い送信電力制御を実現している。ところが、CDMA パケット通信システム、特にアクセスプロトコルにスロット ALOHA などのランダムアクセス方式を採用したシステムでは、下り回線での制御データの伝送の観点から、閉ループ制御が困難だと考えられる。したがって、本稿で検討の対象とする送信電力制御は、開ループ送信電力制御のみとする。

2.1 開ループ送信電力制御

開ループ送信電力制御では、下り回線と上り回線の伝搬減衰量を同じと仮定して、移動局がパイロット信号等の下り回線信号の伝搬減衰量を計測（推測）し、その値に基づいて上り方向の送信電力を決定している。 $P_{\text{tgt}}(i)$ を移動局 i から到来するパケットの接続基地局での目標受信電力、 $P'_{\text{loss}}(i, j)$ を接続基地局（例えば、基地局 j ）からの下り回線の伝搬減衰量の計測（推測）値とすると、移動局はパケット送信に先だって次式によりそのパケットの送信電力 $P_{\text{tx}}(i)$ を算出する。

$$P_{\text{tx}}(i) = P_{\text{tgt}}(i) \cdot P'_{\text{loss}}(i, j) \quad (1)$$

FDD(Frequency Division Duplex) システムなど、上下回線の伝搬経路は必ずしも同一ではないため、閉ループ制御に比較して開ループ制御の制御精度は低く、いくらかの制御誤差が存在すると考えられる。下り回線の伝搬減衰量の計測（推測）値に含まれている誤差など、開ループ制御に存在する制御誤差を $P_{\text{err}}(i)$ とすると、実際に基地局で受

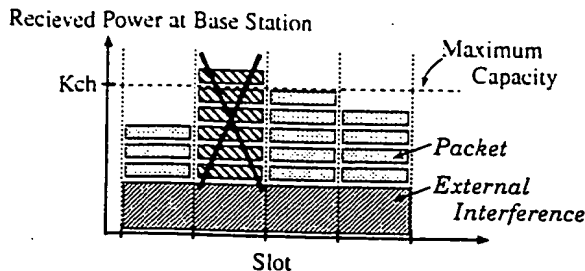


図 1: Packet congestion

信されるパケットの受信電力 $P_{rx}(i)$ は、

$$P_{rx}(i) = P_{tgt}(i) \cdot P_{err}(i) \quad (2)$$

となる。目標受信電力を一定に制御する従来方式では、目標受信電力 $P_{tgt}(i)$ は同一基地局に接続されている全ての移動局で一定に設定される。

2.2 従来方式の問題点

CDMA パケット通信システムでは、この種の送信電力制御を用いることにより最大スループットが向上する。しかしながら、高チャネル負荷時にスループット特性が急激に劣化して、送信電力制御を行なわない場合の特性までも下回る。図 1 に示すように、従来方式では基地局において各パケットの受信電力が等しくなるように制御されるため、同一スロットに多くのパケットが到来して、その量が多元絶続干渉で制限される限界容量を超えた場合、全てのパケットの受信品質が低下し、一斉に受信が不可能になる。高チャネル負荷時におけるスループット特性の急激な劣化は、今後移動通信においてもサービスの提供が期待され、トラフィック規制が困難と考えられるコネクションレスサービス等のサービス性を劣化させる一因となり問題となる。

3 チャネル負荷適応型送信電力制御方式

前述の問題を緩和する方式として、チャネル負荷適応型送信電力制御方式を提案する。提案方式での制御対象は、基地局における受信パケットの目標受信電力 P_{tgt} であり、目標受信電力値をチャネル負荷と移動局位置の基づいて制御する。図 2 に示すように、各々の移動局では、自己の位置とチャネル負荷に応じて決定される目標受信電力 P_{tgt} に基づき、送信パケットの送信電力が式 (1) により算出される。

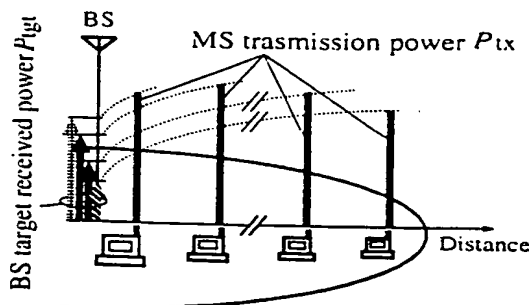


図 2: Adaptive transmission power control

3.1 目標受信電力値の設定

移動局の目標受信電力値は、目標受信電力設定関数により決定される。目標受信電力設定関数は、図 3 に示すような簡単な関数で与えられる。図 3 において、 P_{tgt-b} は基準目標受信電力であり、基地局近傍の移動局の目標受信電力に相当する。 R_{ip} は目標受信電力設定関数の変曲点であり、基地局からの距離が R_{ip} 以下の移動局の目標受信電力は、基準目標受信電力 P_{tgt-b} に設定される。また、 ΔP_{tgt} はセル端 (基地局からの距離がセル半径 R_{cell} に等しい点) に位置する移動局の目標受信電力と基準目標受信電力との差分である。

基地局は、変曲点 R_{ip} と目標受信電力の差分 ΔP_{tgt} の値をセル内の全移動局に対して周期的に報知する。これにより、移動局は自局内で、自己の位置に応じた目標受信電力 P_{tgt} を、算出することが可能となる。

基地局からの距離が d である移動局の目標受信電力 $P_{tgt}(d)$ は、

$$P_{tgt}(d) = \begin{cases} P_{tgt-b} - \frac{\Delta P_{tgt} \cdot (R_{ip} - d)}{R_{ip} - R_{cell}} & ; d > R_{ip} \\ P_{tgt-b} & ; d \leq R_{ip} \end{cases} \quad (3)$$

で表すことができる。

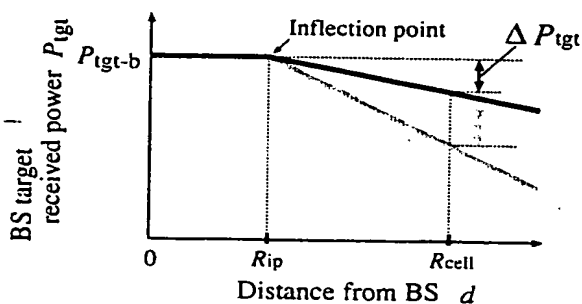


図 3: Function of target received power

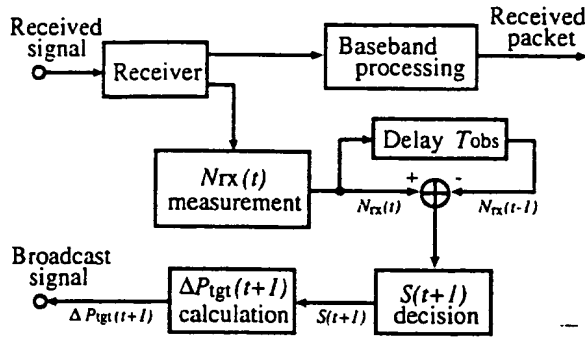


図 4: Control of difference in target received power

式 (3) や図 3 から分るように、基地局からの距離が大きくなると目標受信電力値は小さくなるため、セル境界付近の移動局の送信電力が抑制されることになる。したがって、提案方式では周辺セルへの干渉が少なくなることと期待できる。

3.2 目標受信電力値の制御

図 3 に示したように、目標受信電力設定関数における ΔP_{tgt} をチャネル負荷に応じて適応的に変化させることにより、各移動局の目標受信電力値 P_{tgt} が制御される。図 4 に、その制御シーケンスを表すブロック図を示す。基地局においてチャネル負荷を正確に知ることは困難である。したがって、提案方式ではチャネル負荷を観測期間 T_{obs} 内に基地局で正しく受信できたパケット数 N_{rx} と考える。基地局で N_{rx} を観測して、前観測期間の N_{rx} と比較することにより ΔP_{tgt} を制御する。 $N_{rx}(t)$ を時刻 t の観測期間に観測した受信パケット数とすると、以下に示すような制御アルゴリズムで ΔP_{tgt} を更新する。

$$\Delta P_{tgt}(t+1) = \Delta P_{tgt}(t) \cdot \beta^{S(t+1)} \quad (4)$$

ここで、

$$S(t+1) = \begin{cases} (-1) \cdot S(t) & ; N_{rx}(t) < N_{rx}(t-1) \\ S(t) & ; otherwise \end{cases} \quad (5)$$

式 (4), (5) において、 $\Delta P_{tgt}(t)$ は時刻 t の観測期間における ΔP_{tgt} であり、 $\Delta P_{tgt}(t+1)$ はその次の観測期間における ΔP_{tgt} である。 β は正の実数 ($\beta \geq 1.0$) をとる更新系数である。また、関数 $S(t)$ は制御の方向を表す符号関数 ($S(t) = 1$ or -1 , $S(0) = 1$) である。

以上のような方式で、 N_{rx} を大きくする方向に ΔP_{tgt} が更新される。

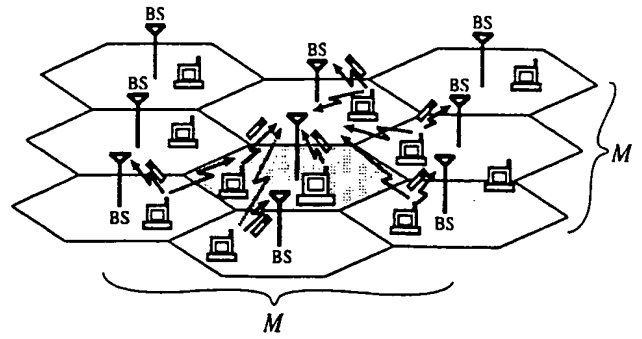


図 5: Cell model

4 システム (シミュレーション) モデル

検討の対象とするシステムを、図 5 に示すようなセルラ環境のマルチセルシステムとする。前提条件として次のような仮定をする。

- サービスエリアは、 $M \times M$ 個のセルから構成される。セル構成は、中心に基地局の配置された正則配置の正六角形マイクロセルとする。各基地局は、パイロット信号を報知している。
- 移動局はサービスエリア内に一様に分布し、最も強いパイロット信号を受信する基地局に DS/CDMA 方式でパケットを送信する。各パケットは異なる拡散コードにより拡散変調されるものとする。
- アクセス方式は、スロット ALOHA で、スロット同期は全ての基地局で完全であるとする。拡散コード同期は、基地局 - 移動局間の距離が異なるため、不完全であるとする。
- 無線チャネルは、 α 乗の距離減衰と標準偏差が σ_s の対数正規分布をもつシャドーイングを受けるものとする。しかし、フェージングの影響は考えない。
- 送信電力制御では、距離減衰とシャドーイングを保障できるものとする。送信電力は一つのパケット送信中は一定とする。したがって、基地局での受信電力も一つのパケット受信中は一定とする。送信電力制御に制御誤差がある場合、制御誤差は標準偏差が σ_{pe} の対数正規分布に従うものとする。
- 移動局は、接続中の基地局との距離を正確に知ることができるものとする。
- 全ての下り回線信号は、移動局で誤りなく正しく受信できるものとする。
- 制御の速度は移動速度より十分速いものとする。

4.1 DS/CDMA チャネルモデル

無線チャネルが距離減衰とシャドーイングを受けると仮定すると、移動局 i が送信電力 $P_{tx}(i)$ で送信したパケット

の基地局 j での受信電力は、次のように表すことができる。

$$P_{rx}(i, j) = P_{tx}(i) \cdot \frac{10^{S(i, j)/10}}{d(i, j)^\alpha} \quad (6)$$

ここで、 $S(i, j)$ は、移動局 i から移動局 j への経路のシャドーイング値、 $d(i, j)$ は移動局 i から移動局 j までの距離である。したがって、移動局 i の接続基地局 l における移動局 i の送信したパケットの信号電力対干渉電力比 $SIR_{conn}(i)$ は、次式で与えられる。

$$SIR_{conn}(i) = \frac{SF \cdot P_{rx}(i, l)}{\sum_{k=1, k \neq i}^K P_{rx}(k, l)} \quad (7)$$

上式において、 SF は拡散率、 K は基地局 l に同時に到来しているパケット数である。本稿では、パケット受信成功率 $P_s(i)$ を次のような簡単な関数で近似するものとする。

$$P_s(i) = \begin{cases} 1; & SIR_{conn}(i) \geq SIR_{req} \\ 0; & \text{otherwise} \end{cases} \quad (8)$$

ここで、 SIR_{req} は基地局がパケットを正しく受信するために要求される SIR である。

なお、本検討では、干渉パケットとして、同一セル内の他移動局と隣接 6 セルに存在する移動局から到来するパケットを考える。

4.2 移動局モデル

移動局の生起間隔は、各セルにおいて平均が T_{slot}/G の指数分布に従う。ここで、 T_{slot} はスロット周期、 G はセル毎のチャネル負荷を表す。各移動局は生起直後に一つだけパケットを生成する。ゆえに、各セルでのパケット生起は、ポアソン過程に従うことになる。

パケットは、固定長でスロット周期 T_{slot} と同じ長さを持ち、生起したスロットの次スロットの先頭で送信される。パケット送信後、移動局は送信パケットの基地局での受信成功 / 不成功に係わらずシステムから消滅する。したがって、パケットの再送は考慮しない。

4.3 比較の対象

性能評価は、従来の送信電力制御法と送信電力制御を行わない場合との比較で行なった。

- 従来方式 (Conventional TPC)
基地局に到来するパケットの受信電力を一定に制御する。目標受信電力をセル内の全ての移動局で同じ値に設定する。
- 送信電力制御なし (Non TPC)
全ての移動局が同じ送信電力でパケットを送信する。基地局に到来するパケットの受信電力は、距離減衰とシャドーイングのみに基づく。

4.4 評価項目

評価項目は、スループット S と平均伝送遅延 D とし、それぞれ次のように定義する。

- スループット S : $S = N_{sucs}/N_{slot}$
 N_{sucs} は、基地局で正しく受信したパケット数であり、 N_{slot} は観測時間内の全スロット数である。
- 平均伝送遅延 D : $D = N_{retx} \times T_{retx}$
 N_{retx} は平均再送回数、 T_{retx} は再送間隔を表す。また、平均再送回数 N_{retx} は、 $N_{retx} = N_{crpt}/N_{sucs}$ で与える。 N_{crpt} は、 SIR_{req} を満足しないために基地局で受信できなかったパケット数である。平均伝送遅延 D は、観測セル内で送信された全てのパケットに対するもの、図 6 に示すようにセルを基地局からの距離で同心円状の等面積のリングに N_{div} 分割した場合の各リングで送信されたパケットに対するものの 2 つで評価する。分割時、Ring1 が最内周 (基地局近傍) の、Ring N_{div} がセル端のリングを表す。

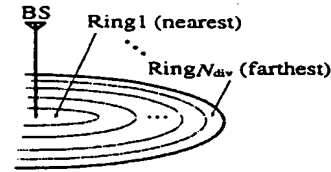


図 6: Dividing the cell into N_{div} rings

5 シミュレーション結果

性能評価は、計算機シミュレーションにより行なった。主要なシミュレーションパラメータを表 1 に示す。

統計データはサービスエリアの中心セルから取得した。

5.1 完全送信電力制御

送信電力制御が完全に行なわれている場合のスループット特性 S を図 7 に示す。横軸は、セル毎に印加されたチャネル負荷 G を表している。図 7 に示した特性は、 ΔP_{tgt} の初期値、更新係数 β および目標受信電力設定関数の変曲点 R_{tp} が、それぞれ 3.0 dB、1.1、 $0.5 \times R_{cell}$ の場合の特性である。図 7 には、送信電力制御なし、従来方式および提案方式のスループット特性 S が、それぞれ点線、破線および実線で示されている。従来方式は、送信電力制御なしの場合と比較して最大スループットが大幅に改善されており、文献 [4],[5] と同様の結果が得られている。しかし、従来方式のスループット特性は、最大スループットに達した後、チャネル負荷が大きくなると急激に劣化し、送信電力制御なしの場合の特性より劣化する。一方、提案方式ではその領域での特性劣化が極めて少なく、ほぼ最大スループットを維持している。高チャネル負荷時における

表 1: Simulation parameters

Service area	$(M \times M)$	5×5	(cells)
Cell radius	(R_{cell})	115	(m)
Propagation loss coefficient	(α)	3.5	(power)
Shadowing standard deviation	(σ_s)	7.0	(dB)
Spread factor	(SF)	16	
Slot duration	(T_{slot})	4	(ms)
Required SIR	(SIR_{req})	5.0	(dB)
Channel load observing duration	(T_{obs})	100	(slots)
Offered channel load	(G)	variable	(packets/ T_{slot} /cell)
Power control error standard deviation	(σ_{pe})	variable	(dB)
Number of division of the cell	(N_{div})	10	

提案方式のスループット特性は、従来方式に比べ大幅に改善されている。チャネル負荷 G が 3.5 の時に約 10%、4.0 の時に約 25% の改善がみられる。さらに、低負荷領域においても提案方式は従来方式と同等の特性が得られており、全負荷領域において良好な特性が得られている。これらの結果から提案方式を用いれば、実用領域を拡張することが可能であると言える。

図 8 は、チャネル負荷 G が増加した場合の ΔP_{tgt} 特性を示している。+印はシミュレーション期間中にサンプリングした ΔP_{tgt} の値を、実線はその平均値を、また点線はその時のスループット特性を示す。最大スループットを得るチャネル負荷領域で、 ΔP_{tgt} は小さくまたその分散も小さく制御されていることがわかる。これは、遠近問題を軽減する方向に制御が働いているためだと考えられる。反対に、高チャネル負荷時には捕捉効果が得られるように大きく制御されている。さらに、高チャネル負荷時に ΔP_{tgt} を大きく制御することで、周辺セルへの干渉が低減されることとなる。以上から、提案方式は効率的に機能していることがわかる。

図 9 に、観測セル内で送信された全パケットの平均伝送遅延時間 D 特性を示す。図 9 は、送信電力制御なし、従来方式および提案方式の平均伝送遅延時間 D 特性を示している。全パケットの平均伝送遅延時間 D は、従来方式の場合、チャネル負荷 G が 3.5 を超えると急激に増大しているが、提案方式では急激な増加はみられない。また、送信電力制御なしの場合と比較しても特性改善がみられ、全領域で良好な特性が得られていることがわかる。

図 10 は、図 6 に示したようにセルをリング状に 10 分割した場合の各リングの平均伝送遅延時間 D 特性を示している。図 10 には、Ring1, Ring5, Ring8 の伝送遅延時間 D が、送信電力制御なし、従来方式および提案方式の場合について示されている。従来方式の各リングの D 特性は、リング位置に関係なく同様の特性を示している。このことは、セル内の全移動局に対してその位置に関係なく公平なサービスが提供されていることを示している。一方、送信電力制御なしや提案方式では、各リングの D 特性に

差がみられる。提案方式の場合、負荷の小さい領域ではリング間の差は殆んどみられないが、高チャネル負荷領域 ($G \geq 3.0$) で Ring8 の特性が Ring1 や Ring5 の特性に比べ劣化している。提案方式では、高チャネル負荷領域において基地局からの位置により目標受信電力が異なり、セル端の移動局の送信電力が抑制されるためだと考えられる。また、Ring1 や Ring5 の特性が従来方式に比較して向上しているのは、捕捉効果により Ring1 や Ring5 に位置する移動局のパケットが救済されることに起因すると考えられる。提案方式の D 特性は、最大スループットを得るまでのチャネル負荷の小さい領域では従来方式の特性に、高チャネル負荷領域では特性が改善された送信電力制御なしの特性に類似している。

5.2 不完全送信電力制御

送信電力制御が不完全な場合のスループット特性 S を図 11 に示す。図 11 は、送信電力制御における制御誤差の標準偏差 σ_{pe} が 1, 3, 5 および 10 dB の場合の特性を、従来方式および提案方式の場合について示している。提案方式のスループット特性は σ_{pe} の値に関係なく、従来方式の特性より優れていることがわかる。高チャネル負荷時の従来方式の特性は、 σ_{pe} の値が大きくなると改善されるため、この領域における提案方式の特性改善率は、 σ_{pe} が大きくなる程小さくなる。

図 12 は、 σ_{pe} の変化に対する従来方式および提案方式の最大スループット値 S_{max} を示している。提案方式の S_{max} は、全ての σ_{pe} に対して従来方式の S_{max} を僅かながら上回っている。 σ_{pe} が大きくなるに従い、 S_{max} における改善率が大きくなっている。 σ_{pe} が 10 dB の時、5% 程度の S_{max} の改善がみられる。この特性改善は、送信電力制御における制御誤差により、基地局に到来するパケットの受信電力値がさらに分散することに起因するものと考えられる。実際の移動パケット通信システムでは、送信電力制御を完全に行なうことは大変難しいと考えられるため、制御誤差の存在するシステムで最大スループット値

S_{\max} が改善する提案方式は、実システムにおいて有効に動作すると考えられる。

図 13 に、送信電力制御が不完全な場合 (制御誤差の標準偏差 σ_{pe} が 5 dB) の平均伝送遅延時間 D 特性を示す。図 13 には、従来方式と提案方式のリング 1, 3, 5, 8 および全領域から送信されたパケットの D 特性を Ring1, Ring3, Ring5, Ring8 および Total で示している。完全送信電力制御の場合と同様に、全領域 (Total) の提案方式の D 特性は従来方式より優れていることがわかる。しかし、提案方式の D 特性はリングによる差はなく、移動局位置に関係なく公平なサービスの提供が可能であるが、提案方式の D 特性は高チャネル負荷領域においてリング毎に異なる。

6 まとめ

将来の移動通信システムにおいてサービス提供が期待されている、コネクションレスサービスなどのトラフィック規制の困難なサービスのサービス性の向上を目的として、本稿では CDMA スロット ALOHA パケット通信におけるチャネル負荷適応型送信電力制御法を提案した。提案方式の上り回線の伝送特性を、計算機シミュレーションで評価した。提案方式では、高チャネル負荷領域でのスループット特性が従来方式に比べ大幅に向上した。送信電力制御が不完全なシステムにおいては、高チャネル負荷領域でのスループットの改善幅は縮小する傾向にあった。しかし、最大スループットが従来方式に比べ改善し、送信電力制御の制御誤差が大きい程、改善率が大きくなった。一方、提案方式の伝送遅延特性では、基地局近傍の移動局が送信したパケットの伝送遅延特性は改善したが、セル端の移動局のパケットの特性が高チャネル負荷時に劣化し、パケット受信成功率に地理的な不公平性があることがわかった。しかしながら、提案方式では、高チャネル負荷時における急激なスループット特性の劣化を回避することが可能となったため、トラフィック規制の困難なサービスに対するシステムの動作可能チャネル負荷領域を拡張することが可能となったと言える。以上から、提案方式は従来の送信電力制御方式に比較して、コネクションレスサービスなどのトラフィック規制の困難なサービスに対するサービス性を向上させることが可能である。

本稿では、簡単なデータトラフィックのみを対象とした CDMA スロット ALOHA システムを考えた。提案方式は、マルチメディアトラフィックや他の CDMA パケット通信システムへの応用が可能と考えられる。

謝辞

本研究を進めるにあたり、御指導、御討論頂いた当研究所の石川所長、小林室長、山崎主任研究員、武尾研究員お

よび山田前室長 (現防衛大教授)、小倉前主任研究員 (現東芝) に感謝致します。

参考文献

- [1] A. E. Brand et al., "Performance of a Joint CDMA/PRMA Protocol for Mixed Voice/Data Transmission for Third Generation Mobile Communication", *IEEE J. Select. Areas Commun.*, vol.14, No.9, pp.1698-1707, Dec. 1996
- [2] M. J. McTiffin et al., "Mobile Access to an ATM Network Using a CDMA Air Interface", *IEEE J. Select. Areas Commun.*, vol.12, No.5, pp.990-908, June 1994
- [3] K. Toshimitsu et al., "A Novel Spread Slotted Aloha System with Channel Load Sensing Protocol", *IEEE J. Select. Areas Commun.*, vol.12, No.4, pp.665-672, May 1994
- [4] C. F. Kou, et al., "Power Imbalance Effects on Packet CDMA", *IEEE J. Select. Areas Commun.*, vol.14, No.9, pp.1830-1840, Dec. 1996
- [5] 丹野 他, "移動パケット CDMA 通信における送信電力制御の効果.", 信学会 総合大会, B-374, 1996
- [6] W. C. Y. Lee, "Overview of Cellular CDMA", *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol.40, No.2, pp.291-302, May 1991
- [7] K. S. Gilhousen, et al., "On the Capacity of a Cellular CDMA System", *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol.40, No.2, pp.303-312, May 1991
- [8] J. C. Arnbak, et al., "Capacity of Slotted ALOHA in Rayleigh-Fading Channels", *IEEE J. Select. Areas Commun.*, vol.SAC-5, No.2, pp.261-269, Feb. 1987
- [9] I. M. I. Habbab, et al., "ALOHA with Capture Over Slow and Fast Fading Radio Channels with Coding and Diversity", *IEEE J. Select. Areas Commun.*, vol.7, No.1, pp.79-88, Jan. 1989
- [10] I. Widiapangestu, et al., "Capture Probability and Throughput Analysis of Slotted ALOHA and Unslotted np-ISMA in a Rician/Rayleigh Environment", *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol.43, No.3, pp.457-465, Aug. 1994

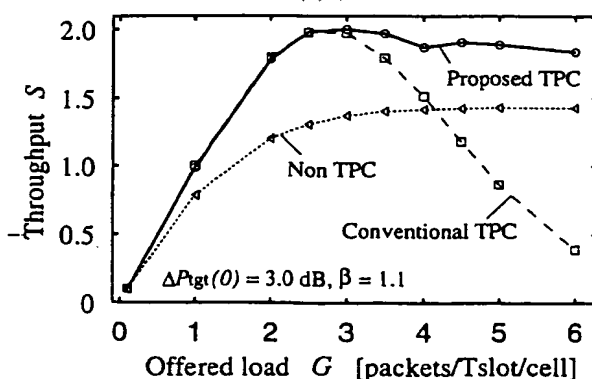


図 7: Offered load G versus throughput S (perfect power control)

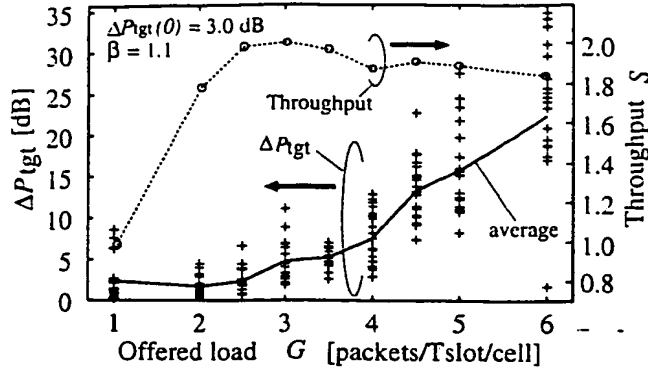


图 8: Offered load G versus difference in target received power ΔP_{tgt} (perfect power control)

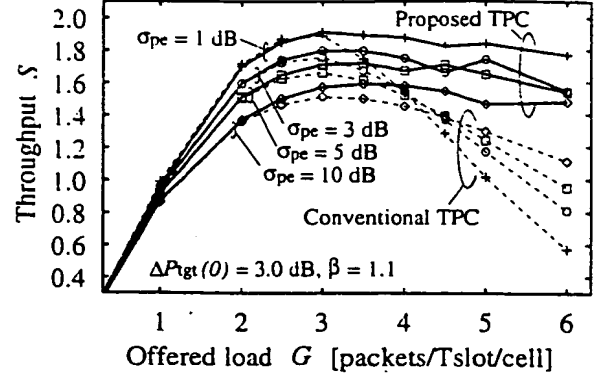


图 11: Offered load G versus throughput S (with power control error)

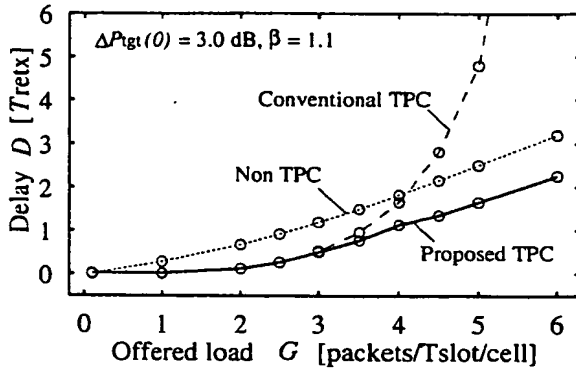


图 9: Offered load G versus transmission delay D for all mobile stations (perfect power control)

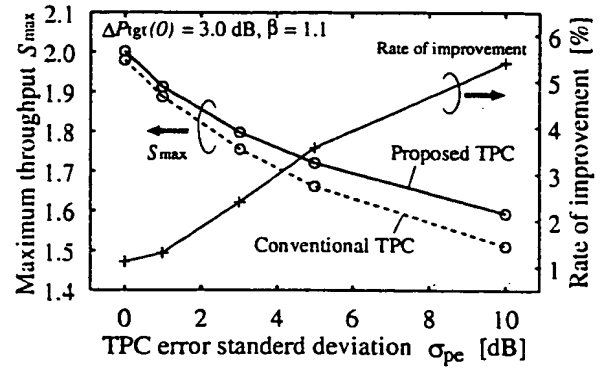


图 12: Power control error standard deviation σ_{pe} versus maximum throughput S_{max}

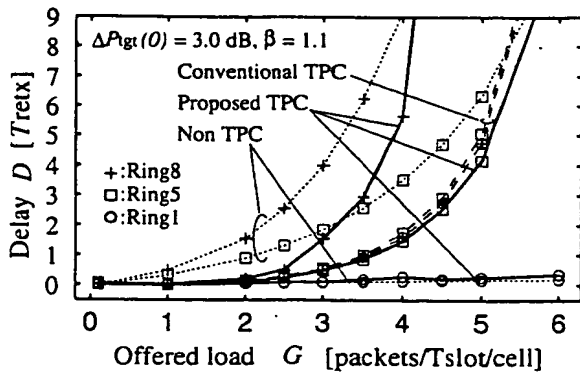


图 10: Offered load G versus transmission delay D for the mobile stations located at each ring (perfect power control)

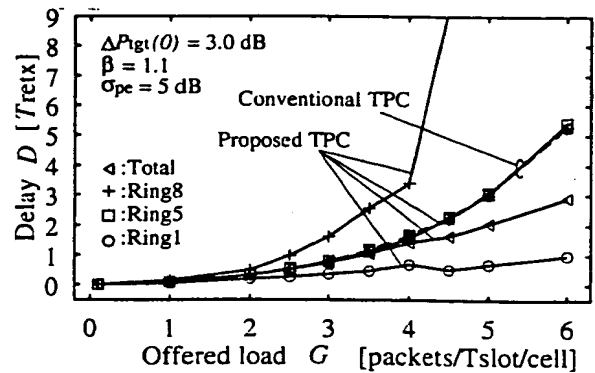


图 13: Offered load G versus transmission delay D (with power control error $\sigma_{pe} = 5$ dB)

TRANSMISSION POWER CONTROL IN CDMA SLOTTED-ALOHA PACKET RADIO
COMMUNICATIONS

[CDMA Slotted-ALOHA paketto tsushin' niokeru soshin'den'ryoku seigyo
no ichi ken'to]

Kazuo Mori

NOTICE: COPYRIGHT RESTRICTIONS MAY APPLY.

UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE
Washington, D.C. September 2003

Translated by: FLS, Inc.

Translated Title: TRANSMISSION POWER CONTROL IN CDMA SLOTTED-ALOHA
PACKET RADIO COMMUNICATIONS

Japanese Title: CDMA Slotted-ALOHA paketto tsushin' niokeru
soshin'den'ryoku seigyo no ichi ken'to]

Author: Mori, Kazuo

Author's Affiliation: YRP Mobile Telecommunications Key Technology
Research Laboratories Co., Ltd.

Source: Technical Report of IEICE
RCS98-49 (1998-06)
Pp. 95-102

Recently, there has been a demand for mobile telecommunication systems capable of multimedia (audio, data, images) transmissions for future personal communication devices. Since packet communication technology is flexible enough for various media, multimedia communications is one of these technologies. Mobile telecommunication systems introduced circuit switching but in the future packet switching with wireless channels should be developed. Under these circumstances, there has been extensive research on CDMA packet communication systems [1]-[5].

Since there are problems with distances on CDMA mobile telecommunication systems, there is a goal of increasing the light channel capacity, which necessitates transmission power control [6],[7]. For CDMA packet communications, conducting transmission power control improves maximum throughput [4],[5]. However, throughput performance rapidly deteriorates as the offered load increases, lower than performance without transmission power control. Since the reception power for each packet is controlled to the same as at base stations, when many packets arrive at the base station simultaneously, the required quality for all of the packets cannot be obtained due to multiple connection interference. Until recently, with mobile telecommunications systems based on circuit switching, it has been possible to easily perform traffic control via call connection control

*Numbers in the margin indicate pagination in the foreign text.

(setting). Thus, there have been no particular problems with deterioration in performance under heavy channel loads. For future mobile telecommunications, while it is thought that wireless service will be available without conducting call connection control, in this case, tracking control is supposedly difficult. If there is a temporary heavy channel load due to traffic variations, the transmission efficiency with existing transmission power control methods will lead to a dramatic deterioration of service performance. As a result, there is a need to improve heavy channel load performance. For this deterioration in heavy channel load performance, the capture effect [8]-[10] due to received power variance is known to improve throughput performance using narrow band packet communications such as TDMA and FDMA. Because of this capture effect, the base station can properly receive large power packets to meet quality requirements even during packet consolidation. Therefore, to alleviate deterioration of performance under heavy channel loads with CDMA packet communication systems, it is necessary to obtain a new transmission power control method capable of providing a smooth capture effect with receiving power variances.

This paper proposes a new transmission power control method for CDMA slotted-ALOHA packet communication. This method adaptively controls the target received power for packet communication at base stations according to the offered load and the location of mobile stations. The target received power setting functions for base

stations are set when setting the target received power for mobile stations and this function is controlled according to the offered load. Depending on the distance from the base station during connection, the mobile station automatically determines target received power value using the target received power setting function. Since the target received power differential with the mobile station increases under heavy channel loads as the distance from the base station increases, a capture effect is achieved by controlling the target received power setting function. In this manner, by controlling the transmission power of the mobile station as it approaches the cell boundary, interference with the neighboring cell is reduced. Computer simulation was conducted for performance evaluation in the case of perfect and imperfect transmission power control in cellular environments. Results show that this has superior transmission characteristics relative to the existing transmission power control method.

2 Transmission Power Control in CDMA Slotted-ALOHA Communications

Transmission power control methods investigated with CDMA mobile telecommunication systems are generally classified into open loop control and closed loop control methods. With circuit switching based systems, these two methods have been used jointly for transmission power control that is extremely accurate. With CDMA packet transmission systems, in particular random access systems such as slotted-ALOHA access protocol, closed loop control is difficult due to

control data transmission on declining circuits. This paper only targets open loop transmission power control for investigation.

2.1 Open Loop Transmission Power Control

With open loop transmission power control, it is thought that the declining circuits and rising circuits have the same propagation attenuation. The propagation attenuation for pilot signals such as declining circuit signals was measured (hypothetical) by the mobile station. That value was used as a base for determining the rising trend for transmission power. Using the target received power $P_{tgt}(i)$ at the base station for the packet from the mobile station i , the $P'_{loss}(i, j)$ of the declining propagation attenuation from the base station (base station j , for example) is estimated (hypothesized) and the mobile station packet transmission power $P_{tx}(i)$ is calculated according to the following formula.

$$P_{tx}(i) = P_{tgt}(i) * P'_{loss}(i, j) \quad (1)$$

With FDD (Frequency Division Duplex) systems, since the rising/declining propagation path is not always identical, the control accuracy of the open loop control is lower than that of the closed loop control and so control errors are expected. Errors include those when estimating (hypothesizing) the declining propagation attenuation, so $P_{err}(i)$ is used for the open loop control error. Then the actual received packet power $P_{rx}(i)$ at the base station becomes

THIS PAGE BLANK (USPTO)

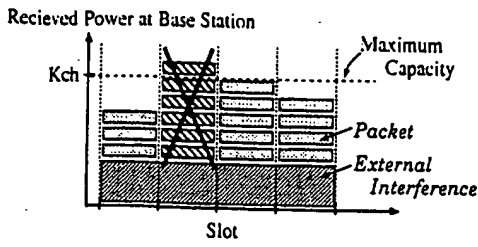


Figure 1 : Packet congestion

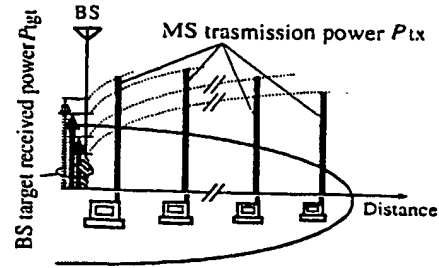


Figure 2 Adaptive transmission power control

$$P_{rx}(i) = P_{tgt}(i) * P_{err}(i) \quad (2)$$

With existing methods that control the target received power, the target received power $P_{tgt}(i)$ for all of mobile stations connected to the same base station is set to be the same.

2.2 Problems with Existing Methods

Using this type of transmission power control can improve the maximum throughput for CDMA packet communication systems. Throughput performance under heavy channel loads dramatically deteriorates to a point where the performance appears as though there is no transmission power control. As shown in Figure 1, with existing methods, the received power for each packet is controlled to about the same as the base station. Thus, when many packets arrive at the same slot, this volume exceeds the threshold volume for multiple connection interference and so the reception quality for all of the packets deteriorates such that simultaneous reception becomes impossible. The rapid deterioration of throughput performance under heavy channel

loads will cause problems in the future with deteriorating wireless services for mobile communications due to difficulties in traffic control.

3 Adaptive Channel Load Transmission Power Control

Adaptive channel load transmission power control is presented as a method to alleviate the aforementioned problems. The control target with this method utilizes the target received power P_{tgt} for the received packet at the base station, and the target received power value is controlled based on the offered load and mobile station location. As shown in Figure 2, the packet transmission power is calculated according to formula (1) for each mobile station, based on the target received power P_{tgt} determined according to each location and offered load.

3.1 Target Received Power Value Setting

The target received power value for the mobile station is determined by the target received power setting function. The target received power setting function is a simple function as shown in Figure 3. In Figure 3, P_{tgt-b} is the standard target received power that corresponds to the target received power for mobile stations in the vicinity of the base station. R_{ip} is the inflection point of the target received power setting function and the target received power for the mobile station where the distance from the base station is less than R_{ip} is set as the standard target received power P_{tgt-b} . ΔP_{tgt} is the differential between the target received power for the mobile

station at the edge of the cell (the point where the distance from the base station is the same as the cell radius R_{cell}) and the standard target received power.

It has been repeatedly reported that the value of the inflection point R_{ip} and the target received power differential ΔP_{tgt} corresponds to that of all mobile stations within the cell. Thus, it is possible to calculate the target received power P_{tgt} corresponding to the individual mobile station position.

With a distance d from the base station, the target received power $P_{\text{tgt}}(d)$ for the mobile station is:

$$P_{\text{tgt}}(d) = P_{\text{tgt-b}} \Delta P_{\text{tgt}} (R_{\text{ip}} - d); \quad d > R_{\text{ip}} \quad (3)$$

$$P_{\text{tgt-b}} \quad R_{\text{ip}} - R_{\text{cell}} \quad ; \quad d < R_{\text{ip}}$$

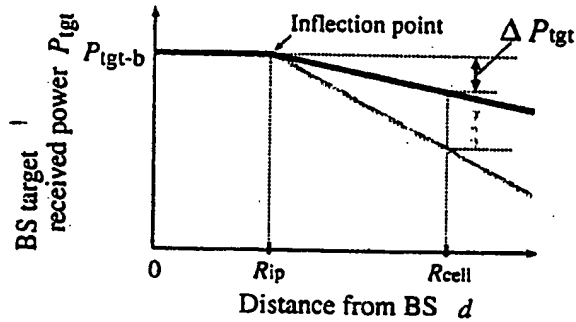


Figure 3 **Function of target received power**

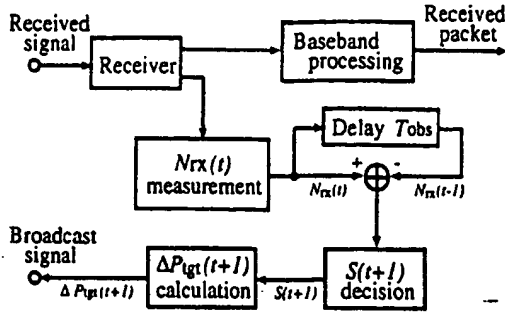


Figure 4

: Control of difference in target received power

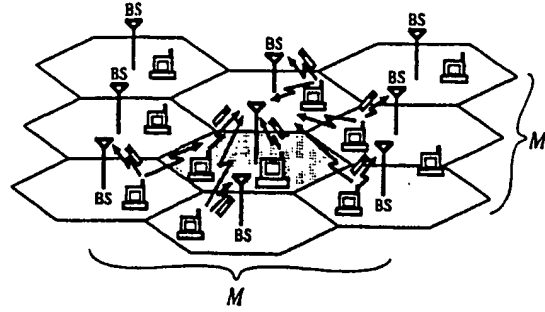


Figure 5 : Cell model

As shown with Formula (3) or Figure 3, the target received power value decreases as the distance from the base station increases so the transmission power of the mobile stations near the cell boundary can be controlled. With this method, it is expected that the interference to surrounding cells will decrease.

3.2 Target Received Power Control

As shown in Figure 3, the ΔP_{tgt} in the target received power setting function adjusts according to offered load so the target received power P_{tgt} for each mobile station can be controlled. Figure 4 shows a block diagram of the control sequence. It is difficult to precisely know the offered load for the base station. However, with this method, the offered load is believed to be the packets properly received N_{rx} at the base station within the observation period T_{obs} . N_{rx} is observed at the base station and compared with the N_{rx} of the previous observation period to obtain ΔP_{tgt} . With $N_{rx}(t)$ as the received

packet amount observed during time t , ΔP_{tgt} is updated with the following control algorithm.

$$\Delta P_{\text{tgt}}(t+1) = \Delta P_{\text{tgt}}(t) * \beta^{S(t+1)} \quad (4)$$

And

$$S(t+1) = (-1) * S(t); N_{\text{rx}}(t) < N_{\text{rx}}(t-1)$$

$$S(t); \text{ otherwise} \quad (5)$$

In formula (4), (5), $\Delta P_{\text{tgt}}(t)$ is ΔP_{tgt} for time t , while $\Delta P_{\text{tgt}}(t+1)$ is ΔP_{tgt} for the following observation period. β is the updated numeral when β is a real number ($\beta \geq 1.0$). Function $S(t)$ shows the control direction such as $S(t)=1$ or -1 , $S(0)=1$.

With this formula, ΔP_{tgt} is updated as N_{rx} increases.

4 System Model (Simulation)

As shown in Figure 5, the system under investigation is a multicell system for a cellular environment. The following assumptions were made.

- The service area was formed of $M \times M$ cells. The cell arrangement was standard 6-sided microcells centered around a base station. Each base station utilizes pilot signals.
- Mobile stations are uniformly dispersed within the service area. The DS/CDMA method was used to transmit packets to the base station to receive the strongest pilot signal. Each packet was subject to diffusion modulation using varying diffusion codes.
- With the access method, slot synchronization was completed for all base stations with slotted-ALOHA. The diffusion code

synchronization varies with the distance between the bases station and mobile station so was not completed.

- Wireless channels were shadowed using σ_3 logarithmic normalized distribution between the α power range loss and the standard deviation. Phasing effect was not taken into consideration.
- Range loss and shadowing can be guaranteed with transmission power control. The transmission power was set in one packet transmission. The received power was set in another packet reception at the base station. If there was a control error for the transmission power control, the control error should follow the standard deviation of the σ_{pe} logarithmic normalized distribution.
- The distance between the mobile stations and the base stations can be precisely known while connected.
- All of the declining circuit signals can be properly received by the mobile stations.
- Control speed is much faster than mobile speed.

4.1 DS/CDMA Channel Model

In order for wireless channels to receive range attenuation and shadowing, the received power at packet base station j sent by the mobile station i at a transmission power of $P_{tx}(i)$ is shown by the following.

/99

$$P_{rx}(i, j) = P_{tx}(i) * 10^{S(i, j)/10}$$

$$D(i, j)^\alpha \quad (6)$$

Here $S(i,j)$ is the shadowing value for the path from mobile station i to mobile station j and $d(i,j)$ is the distance from mobile station i to mobile station j . The signal power vs. interference power ratio $SIR_{conn}(i)$ for the packet transmitted from mobile station i via the connection with base station l is shown by the following formula.

$$SIR_{conn}(i) = SF * P_{rx}(i,l) / \sum_k P_{rx}(k,l) \quad (7)$$

Here, SF is the rate of diffusion, K is the number of packets simultaneously reaching base station l . In this paper, the packet success rate $P_s(i)$ is determined according to the following simple function.

$$P_s(i) = \begin{cases} 1; & SIR_{conn}(i) \geq SIR_{req} \\ 0; & \text{otherwise} \end{cases} \quad (8)$$

Here, SIR_{req} is the SIR necessary for the base station to properly receive the packet.

In these investigations, packets from other mobile stations within the same cell and from mobile stations in the adjacent 6 cells are considered interference.

4.2 Mobile Station Model

The average mobile station space for each cell follows T_{slot}/G exponential distribution. Here, T_{slot} is the slot duration and G is the offered load for each cell. Each mobile station generates a single packet immediately after an occurrence. Then packet generation for each cell follows the Poisson process.

Packets retain the same fixed length as the slotted cycle T_{slot} and were transmitted at the top of the subsequent slot. After packet transmission, the mobile station was removed from the system, regardless of the reception success/failure of the transmitted packet at the base station. Resending the packet was not considered.

4.3 Comparisons

Performance evaluation consisted of comparing the current transmission power control method with cases where transmission power control was not conducted.

- Conventional TPC

The reception power of packets received by the base station was uniformly controlled. The target reception power value was set to be the same for all mobile stations within a cell.

- Non TPC

Packets were transmitted at the same transmission power as all mobile stations. The packet reception power to the base station was based solely on range attenuation and shadowing.

4.4 Evaluation Items

Evaluation items included throughput S and average transmission delay D , defined as follows.

- Throughput S : $S = N_{\text{sucs}}/N_{\text{slot}}$

N_{sucs} is the correct number of packets received by the base station,

N_{slot} is the total number of slots during the observation period.

- Average transmission delay D : $D = N_{\text{retx}}/T_{\text{retx}}$

N_{retx} is the average number of times resent, T_{retx} is the interval for resending. The average number of times resent N_{retx} is shown by $N_{\text{retx}} = N_{\text{crpt}}/N_{\text{sucs}}$. N_{crpt} is the number of packets that could not be received by the base station due to not satisfying the SIR_{req} . For evaluation of the average transmission delay D , as shown in Figure 6, all of the packets transmitted within the observed cells were divided into $2 N_{\text{div}}$ concentric rings with the same area according to the distance from the base station. Ring1 shows the closest (adjacent to the base station) and Ring N_{div} shows the ring at the edge of the cell.

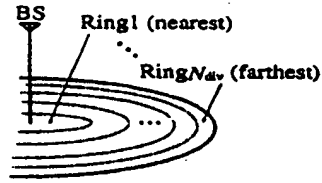


Figure 6 Dividing the cell into N_{div} rings

5 Simulation Results

Performance evaluation was conducted by computer simulation. The primary simulation parameters are shown in Table 1.

Statistical data was obtained from the central cell in the service area.

5.1 Perfect Transmission Power Control

The throughput properties S shown in Figure 7 are for perfect transmission power control. The horizontal axis shows the offered load

G applied to each cell. The properties shown in Figure 7 are properties for when the initial ΔP_{igt} value, the updated coefficient β and the target reception power setting function inflection point R_{ip} are 3.0dB, 1.1 and $0.5 \times R_{cell}$ respectively. In Figure 7, the throughput S for the non TPC, conventional TPC and proposed TPC are shown by the dotted line, dashed line and solid line respectively. When compared with the non TPC, the conventional TPC has a significantly improved maximum throughput, with the same effect as noted in references [4],[5]. The conventional TPC throughput properties experience a dramatic deterioration in offered load after reaching the maximum throughput, worse than the non TPC. With the proposed TPC, deterioration of the properties in that range is minimal, to maintain a nearly maximum throughput. Under heavy channel loads, the throughput for the proposed TPC was much better

/100

Table 1
Simulation parameters

Service area	$(M \times M)$	5×5	(cells)
Cell radius	(R_{cell})	115	(m)
Propagation loss coefficient	(α)	3.5	(power)
Shadowing standard deviation	(σ_s)	7.0	(dB)
Spread factor	(SF)	16	
Slot duration	(T_{slot})	4	(ms)
Required SIR	(SIR_{req})	5.0	(dB)
Channel load observing duration	(T_{obs})	100	(slots)
Offered channel load	(G)	variable	(packets/ T_{slot} /cell)
Power control error standard deviation	(σ_{pe})	variable	(dB)
Number of division of the cell	(N_{div})	10	

than the conventional TPC. With offered load G at 3.5 times, the improvement was about 10%, and 25% at 4.0 times. Even during light channel loads, the proposed TPC had the same performance as

conventional TPC while better performance was exhibited for all load ranges. With these results, using the proposed TPC can expand the range for application.

Figure 8 shows ΔP_{tgt} when the offered load G is increased. The + marks are the ΔP_{tgt} values sampled during the simulation while the solid line is the average of these values. The dotted line shows the throughput properties at that point. The ΔP_{tgt} can be minimized or its dispersion can be controlled at a channel load range to obtain maximum throughput. This is believed to be due to the control addressing distance problems. Under heavy channel loads, good control is possible due to the capture effect. Since ΔP_{tgt} can be controlled during heavy channel loads, interference on surrounding cells can be reduced. Thus the proposed method functions very effectively.

Figure 9 shows the average transmission delay D for all packets transmitted within the observed cells. Figure 9 shows the average transmission delay D for non TPC, conventional TPC and proposed TPC. With conventional TPC, while the average transmission delay D dramatically increased after the offered channel G exceeded 3.5, the proposed TPC did not experience the same dramatic increase. An improvement in performance was seen when compared to non TPC, and excellent performance can be seen at all ranges.

Figure 10 shows the average transmission delay D for each ring of a 10 ring cell shown in Figure 6. In Figure 10, the transmission delay D is shown for Ring1, Ring5, Ring8 for non TPC, conventional TPC and

proposed TPC. D performance for each ring in the conventional TPC indicates the same performance regardless of ring location. This indicates level service regardless of location relative to all mobile stations within the cell. On the other hand, differences can be seen on the D performance for each ring with the non TPC or proposed TPC. With the proposed TPC, a variance between rings with a narrow range of loads could not be seen but the performance of Ring8 during a heavy channel load ($G \geq 3.0$) was worse when compared to Ring1 and Ring5. In the proposed TPC, the target received power varies according to location from the base station for areas with heavy channel loads so it appears to be due to controlling the mobile station transmission power at the edge of the cell. The improved performance of Ring1 and Ring5 compared with conventional TPC is thought to be due to the mobile station packets on Ring1 and Ring5 from the capture effect. D performance of the proposed TPC resembles the performance of conventional TPC at light offered load before reaching maximum throughput and the non TPC with improved performance at heavy channel loads.

5.2 Imperfect Transmission Power Control

Throughput S with imperfect transmission power control is shown in Figure 11. Figure 11 shows the performance for transmission power control when the power control error standard deviation σ_{pe} was 1,3,5 and 10dB for conventional TPC and proposed TPC. Throughput performance of the proposed TPC is not related to the σ_{pe} value and appears to be

superior to the conventional TPC performance. Conventional TPC performance during heavy channel loads improved as the σ_{pe} value increased so for this range, the improvement of performance in the proposed method decreased as the σ_{pe} increased.

Figure 12 shows the power control error standard deviation σ_{pe} vs maximum throughput S_{max} for the conventional method and the proposed method. The S_{max} for the proposed method was slightly higher than the S_{max} for the conventional method relative to the σ_{pe} . As the σ_{pe} increased the improvement of the S_{max} also increased. This performance improvement is believed to cause dispersion of the packet received power values at the base station due to the control error of the transmission power control. In actual mobile packet communication systems, since it appears to be extremely difficult to have perfect transmission power control, the proposed method that improves the maximum throughput S_{max} with a system that controls error appears to operate effectively on actual systems. /101

Figure 13 shows the average transmission delay D for imperfect transmission power control (standard deviation σ_{pe} of control error is 5dB). Figure 13 shows the packet D performance transmitted from Ring1, Ring3, Ring5, Ring8 and for all regions (total) for the conventional method and the proposed method. In the same manner as for perfect transmission power control, the Total performance for the proposed method was superior to the conventional method. The D performance for the proposed method had no variance by ring so even service regardless

of mobile station location was possible. However, the D performance for the proposed method varied by ring for heavy channel loads.

6 Summary

Since there are high service expectations for future mobile communication systems, there is a goal to improve service for traffic control and other wireless services. This paper proposes an adaptive transmission power control method for CDMA slotted-ALOHA packet communications. Transmission properties for the proposed method were evaluated using computer simulation. With the proposed method, the throughput performance under heavy channel loads was significantly better when compared to the conventional method. For imperfect transmission power control systems, the throughput improvement tended to be reduced under heavy channel loads. The maximum throughput was better than with the conventional method and since transmission power control error was high, the rate of improvement increased. The packet transmission delay performance of the proposed method was better for mobile station transmission in the vicinity of the base station. However, the packet performance for mobile stations at the edge of cells deteriorated under heavy channel loads, due to geographical irregularities impacting the packet reception success rate. With the proposed method, since it is possible to avoid the dramatic deterioration of throughput performance under heavy channel loads, it is possible to expand the offered channel load for traffic control

service. Compared to conventional transmission power control methods, the proposed method improves wireless traffic control services.

This paper proposes a CDMA slotted-ALOHA system for simple data transmission. The proposed method has applications for multimedia traffic or other CDMA packet communication systems.

Acknowledgments

I would like to express my deepest appreciation to Manager Ishikawa, Manager Kobayashi, Chief Researcher Yamazaki, Researcher Takeo, previous manager Yamada (currently Defense Professor) and previous chief researcher Ogura (currently at Toshiba) for their guidance, thoughts and assistance in continuing this research.

References

- [1] A.E. Brand et al, "Performance of a Joint CDMA/PRMA Protocol for Mixed Voice/Data Transmission for Third Generation Mobile Communication"
- [2] M.J. McTiffin et al, "Mobile Access to an ATM Network Using a CDMA Air Interface"
- [3] K. Toshimitsu et al, "A Novel Spread Slotted Aloha System with Channel Load Sensing Protocol"
- [4] C.F. Kou et al, "Power Imbalance Effects on Packet CDMA"
- [5] Tanno et al, "Transmission Power Control Effects on Mobile Packet CDMA Communication", IEEE J.Select. Areas Commun. B-374, 1996
- [6] W.C.Y.Lee, "Overview of Cellular CDMA"
- [7] K.S.Gilhousen et al, "On the Capacity of a Cellular CDMA System"
- [8] J.C. Arnbak et al, "Capacity of Slotted ALOHA in Rayleigh-Fading Channels"
- [9] I.M.I Habbab et al, "ALOHA with Capture Over Slow and Fast Fading Radio Channels with Coding and Diversity"
- [10] I. Widipangestu et al, "Capture Probability and Throughput Analysis of Slotted ALOHA and Unslotted np-ISMA in a Rician/Rayleigh Environment"

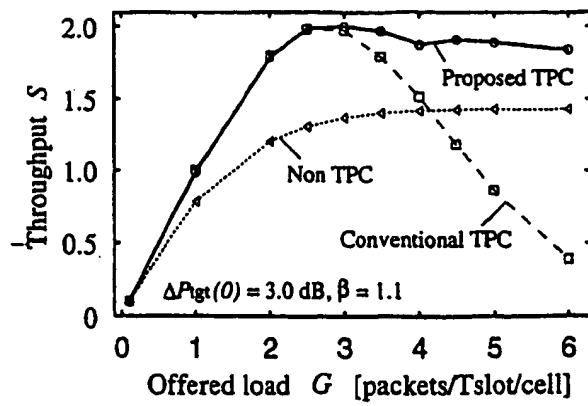


Figure 7
 2.1. Offered load G versus throughput S (perfect power control)

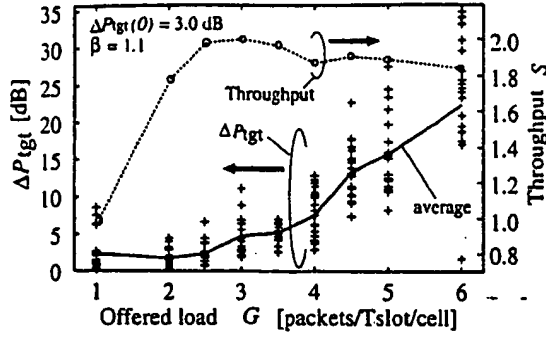


Fig 8: Offered load G versus difference in target received power ΔP_{tgt} (perfect power control)

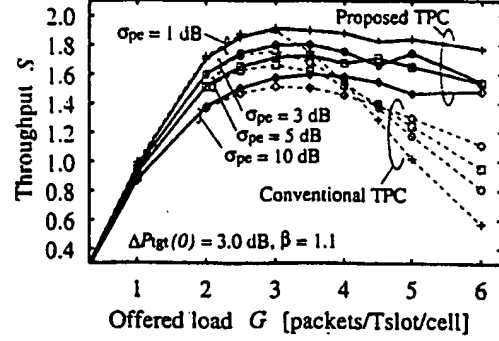


Fig 11: Offered load G versus throughput S (with power control error)

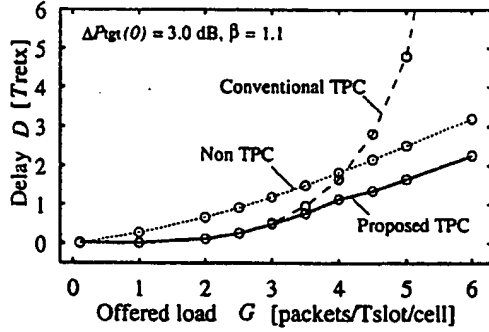


Fig 9: Offered load G versus transmission delay D for all mobile stations (perfect power control)

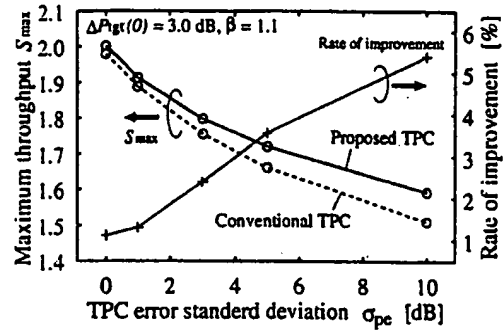


Fig 12: Power control error standard deviation σ_{pe} versus maximum throughput S_{max}

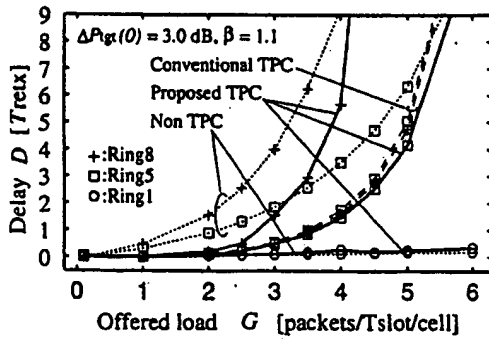


Fig 10: Offered load G versus transmission delay D for the mobile stations located at each ring (perfect power control)

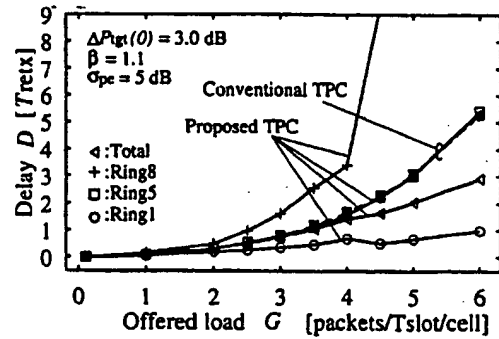


Fig 13: Offered load G versus transmission delay D (with power control error $\sigma_{pe} = 5$ dB)